1932
Lane Medical Library

Über einen neuen Ultraviolettlicht-Dosismesser der I.G. Farbenindustrie Ammoniak-Laboratorium Oppau

Trensch, Karlheinz
Giessen

Über einen neuen Ultraviolettlicht-Dosismesser der I.G. Farbenindustrie Ammoniak-Laboratorium Oppau

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

der

Medizinischen Fakultät
der Hessischen Landesuniversität Gießen

Vorgelegt von

Karlheinz Treusch

aus Butzbach

1 9 3 2

Druck und Verlag K. Schneider, Butzbach (Hessen)

Referent:

Professor Dr Schultze, Gießen
(Universitäts-Hautklinik)

Ueber einen neuen Ultraviolettlicht-Dosismesser der J. G. Farbenindustrie-Ammoniak-Laboratorium Oppau.

Schon lange ist man bestrebt, einen Lichtdosismesser zu finden, der folgende drei Grundbedingungen erfüllt, um in der allgemeinen Praxis verwendbar zu sein.

1) Einfache Handhabung
2) Billigkeit und
3) möglichste Annäherung seiner Empfindlichkeit an die Empfindlichkeit der menschlichen Haut.

Folgende Arbeit beschäftigt sich mit der Prüfung eines neuen Lichtdosismessers. Es soll untersucht werden, ob und wie weit er für die Praxis brauchbar ist. Meßgenauigkeit auf Bruchteile von Prozenten wird man dabei natürlich nicht zu verlangen haben, da die Fehlerquellen, die durch die verschiedene Empfindlichkeit der menschlichen Haut gegeben sind, viel größer sind.

Allgemeines über Dosierung und Dosismesser in der Lichttherapie.

Die qualitative Definition einer Strahlenart geschieht nach der Wellenlänge. Gemessen wird diese gemeinhin nach mm, 1/000 mm = 1 Mikron (μ) oder 1/10000000 mm = 1 Angström Å

So liegen die elektrischen Wellen bei 10^3 — 10^6 cm. Die mittleren Wellen des Ultrarot reichen von

	8200—60 000 Å
Rot liegt im Mittel bei	7200 Å
Orange liegt im Mittel bei	6560 Å
Gelb liegt im Mittel bei	5800 Å
Grün liegt im Mittel bei	5200 Å
Blau liegt im Mittel bei	4500 Å
Violett liegt im Mittel bei	4100 Å
Ultraviolett liegt im Mittel bei	4000—2200 Å
Röntgenstrahlen	10—0,01 Å

Zwischen all diesen Strahlenarten bestehen natürlich fließende Uebergänge. Aus der Menge dieser Strahlen sind nun diejenigen herauszunehmen, die eine sichtbare Wirkung auf die Haut hervorbringen. Besondere biologische Bedeutung für die Haut haben, soweit bisher bekannt, erstens Röntgenstrahlen, zweitens Ultraviolettstrahlen, drittens sichtbares und ulrarotes Licht und viertens die sog. kurzen elektrischen Wellen.

Bei dieser Arbeit interessiert nur die quantitative Erfassung der erythemerzeugenden ultravioletten Strahlen. Es gilt ein Reagenz oder einen Apparat, d. h. eine chemische oder physikalische

Methode zu finden, deren Wirkungsspektrum ähnlich oder gleich dem der menschlichen Haut ist. Diese Methode muß mit anderen Worten die selektive Empfindlichkeit der Haut besitzen. Dies setzt voraus, daß die spektrale Empfindlichkeit der Haut bekannt ist. Diese hat man festzulegen versucht, indem man durch Lichtfilter enge Spektralbereiche ausblendete und sie bezüglich ihrer Wirkung auf die Haut beobachtete. Als exakte Methode muß dieses Vorgehen ausscheiden. Die Strahlung wird durch die Filter selbst mehr oder weniger geschwächt, außerdem ändert sich unter Umständen während des Gebrauchs ihre Durchlässigkeit und vor allen Dingen gibt es monochromatische Filter nur für ganz wenig Spektralbereiche. Für Ultraviolett sind die bisher gefundenen Filter noch sehr mangelhaft.

Den einzig gangbaren Weg, zu wissenschaftlich einwandfreien Werten zu gelangen, haben Haußer und Vahle beschritten. Sie arbeiteten mit einem lichtstarken Spektralapparat mit Quarzoptik und belichteten mit spektral definierter Strahlung die menschliche Haut. Die Versuchsanordnung war dabei so, daß eine Hautstelle im Linienspektrum des Quecksilbers belichtet wurde. Jede Quecksilberlinie war hinsichtlich ihrer Intensität genau festgelegt und es wurde solange belichtet, bis als Reaktion ein deutliches Erythem auftrat. Haußer und Vahle konnten dann entweder durch Veränderung der Belichtungszeit gleiche Energien auf die Haut werfen oder die Energie bestimmen, die zu einem bestimmten Rötungsgrad führte.

Gewisse Schwierigkeiten bereitete die quantitative Festlegung des Rötungsgrades, da man sich auf das Auge allein nicht verlassen kann. Durch Zwischenschaltung leicht rot gefärbter Gelatinefilter in wechselnder Zahl zwischen Haut und Auge oder durch Vergleich mit einer selbst hergestellten Rötungsskala ergaben sich genügend genaue Vergleichszahlen. Neuerdings hat Schall einen Erythemmesser konstruiert, bei dem günstigere Beleuchtungs- und Ablesebedingungen eine größere Genauigkeit garantieren. Leider konnte dieser Erythemmesser bei der vorliegenden Arbeit nicht Verwendung finden, da die Neukonstruktion noch nicht fertiggestellt war. — Man hat auch versucht, mit Hilfe der Kapillarenmikroskopie einwandfreie Erythembestimmungen durchzuführen, aber Versuche haben gezeigt, daß das Erythem keineswegs eine Funktion der Zahl und Weite der Kapillarschlingen ist. Eine Erythembestimmung mit Hilfe der photographischen Platte scheiterte an den nie genau reproduzierbaren Lichtverhältnissen während des Photographierens.

Bei ihren Versuchen fanden Haußer und Vahle, daß die Empfindlichkeit der Haut zwei Maxima aufweist, und zwar eines bei $\lambda = 297$ m μ und ein kleineres bei $\lambda = 254$ m μ. Ein Empfindlichkeitsminimum fanden sie bei $\lambda = 280$ m μ. Zu diesen Zahlen ist zu bemerken, daß die Hornschicht der Haut, die

als totes Gewebe als Ort der Strahlenwirkung nicht in Betracht kommt, bei dem Minimum der Erythembildung $\lambda = 280$ mμ ein Absorptionsmaximum hat. Saidmann, Hasselbalch, Haußer und Vahle konnten das durch Versuche mit menschlicher Haut nachweisen. Durch die Untersuchungen von Miescher wurde die Bedeutung der Hornschicht für den Strahlenschutz ins rechte Licht gerückt. Strahlen der Wellenlänge von $\lambda = 280$ mμ kommen also in vermindertem Maße an der Stelle der primären Strahlenwirkung, die man in der Stachelzellenschicht gefunden zu haben glaubt, zur Wirkung. Daß bei $\lambda = 313$ mμ ein so jäher Abfall der Strahlenwirkung eintritt, wird durch Quantenwirkung erklärt Darauf näher einzugehen, erübrigt sich im Rahmen dieser Arbeit.

Ueber die Abhängigkeit von Erythem und Pigment sagen Haußer und Vahle folgendes:

„Ein Erythem, das mit relativ langen Wellen (297 mμ) erzeugt ist, klingt langsam an und langsam ab und wird immer von erheblicher Pigmentablagerung abgelöst. Bei kürzeren Wellenlängen spielt sich der ganze Ablauf der Erscheinungen in kürzeren Zeiträumen ab. Die Dauerwirkung ist gering oder bleibt ganz aus. Bei weniger stark pigmentierten Personen und bei höheren Dosen erhält man auch bei den kurzen Wellen ein länger dauerndes Pigment, aber es ist niemals auch nur annähernd so stark wie bei längeren Wellen". Haußer und Vahle nehmen eine vollkommene Parallelität zwischen Erythem und Pigmentbildung an und halten eine Pigmentbildung ohne vorausgegangenes Erythem für unmöglich. Peemöller vertritt in dieser Hinsicht eine andere Auffassung. Er nimmt das pigmenterzeugende Hauptmaximum bei $\lambda = 254$ mμ und ein zweites kleineres Maximum bei $\lambda = 297$ mμ an. Bei 254 mμ soll eine rauchgraue intensive Pigmentierung, die relativ schnell abklingt, entstehen, während 297 mμ eine rötlichbraune länger dauernde, aber weniger intensive Pigmentierung erzeugt. Daraus schließt Peemöller, daß auch Pigmentbildung ohne vorausgegangenes Erythem, und zwar bei leicht pigmentierenden Personen, da ja bei 254 mμ die Pigmenterzeugung die Erythembildung relativ überwiegt, auftreten könne. Er lehnt also die Parallelität zwischen Erythem- und Pigmentbildung ab.

Als Ursache der Erythembildung nimmt Sir Thomas Lewis das Freiwerden eines Körpers mit histaminähnlicher Wirkung in der Haut durch Belichtung an. Er nennt diesen chemisch noch nicht definierten Körper H-Substanz. Die Latenzzeit des Erythems erklärt er dadurch, daß er annimmt, ein Erythem könne erst bei Erreichung einer Schwellenwertskonzentration der H-Substanz auftreten. Auch die qualitativen Verschiedenheiten der Erytheme werden erklärt. Soviel über die biologischen Grundlagen der durch ultraviolette Strahlen hervorgerufenen Entzündung an der menschlichen Haut.

Bei therapeutischen und experimentellen Arbeiten mit Strahlen ist man häufig vor die Aufgabe gestellt, eine beliebige auf die Haut wirkende Strahlung quantitativ zu definieren. Eine schwere Aufgabe, da die biologischen Lichtwirkungen doch zum Teil recht unübersichtlich sind. Die biologische Bedeutung der einzelnen Spektralbereiche ist noch nicht scharf genug differenziert, als daß man schon heute Meßmethoden zur Bestimmung einer therapeutischen Dosis aufbauen könnte. Die Wellenlängenabhängigkeit ist noch am besten für die Rachitis und das Erythem bestimmt. Dosierungsverfahren, die hierauf aufbauen, sind also noch am besten fundiert.

Die bekanntesten Dosierungsmethoden sind folgende:

I. Jodtitrationsmethode nach Bering-Meyer.

Mit als die ersten sind Bering und Meyer an das Dosierungsproblem herangetreten. Sie bauten auf der Tatsache, daß ultraviolettes Licht aus angesäuerter Jodkalilösung Jod freisetzt, eine Dosierungsmethode auf. Durch Titration des freien Jod bestimmten sie das zur Wirkung gekommene Ultraviolettlichtquantum. Praktisch ist die Methode so durchzuführen, daß eine quantitativ bestimmte angesäuerte Jodkalilösung in einer Schichtdicke, die bestimmt alle Strahlen absorbiert, dem Licht ausgestzt wird. Bei Belichtung wird sich die Lösung durch freies Jod bräunen; damit ist schon der erste Fehler der Methode aufgezeigt, denn mit fortschreitender Bräunung ändert sich die selektive Empfindlichkeit der Lösung insofern, als eine Lösung mit freiem Jod auch von langwelligerem Licht verändert wird. Ein zweiter Fehler liegt darin, daß die Reaktion nicht zu jeder Zeit gleichmäßig verläuft, sondern mit zunehmender Konzentration langsamer geht und außerdem nach vorheriger Belichtung auch im Dunkeln nicht gleich aufhört. Trotz dieser Mängel hielt sich die Methode in dieser Form lange Zeit. Die quantitative Bestimmung der Lichtmenge nach der Bestrahlung erfolgte dann entweder durch Titration mit Natriumthiosulfat oder nach Hackradt kolorimetrisch im Autenrieth-Königsberger Kolorimeter durch Vergleich mit einem mit Jodlösung gefüllten Keil.

Modifikation nach Keller.

Keller gelang es durch Zusatz einer bestimmten Natriumthiosulfatlösung zur unbelichteten Jodkalilösung die obengenannten Fehler zum Teil auszuschalten. (Indikator: Stärkelösung). Das Gemisch wurde dann solange belichtet, bis die erste geringe blaue Färbung auftrat. Diese Belichtungszeit galt dann als Maß. Besonders zu achten ist bei dieser Jodmethode auf frisch hergestellte Lösung und auf die Temperatur während der Belichtung. Wie alle chemischen Vorgänge, steigert sich natürlich auch die

Reaktion $4\ HJ + O_2 = 2\ H_2O + 2\ J_2$ mit der Temperatur. Außerdem weisen Schall und Alius darauf hin, daß das Reaktionsgefäß genau abgemessen sein muß. Nach Keller soll das Verhältnis von Oberfläche (qcm) zu Volumen (ccm) der bestrahlten Flüssigkeit 0,393 sein. — Man sieht, mit welchen Umständen diese Methode, die allerdings bis jetzt als genaueste bezeichnet werden dürfte, verknüpft ist. Für den Praktiker kommt sie wohl kaum in Frage.

II. Dosimeter nach Keller

Um dem Praktiker einen brauchbaren Lichtdosismesser zugängig zu machen, baute Keller eine Methode aus, die auf der Schwärzung von Photometerpapier beruht. In dem Strahlengemisch einer Lichtquelle, in dem sich erythemerzeugende Strahlen befinden, werden diese und die nicht erythemerzeugenden Strahlen getrennt gemessen. Die Differenz, die sich aus diesen Messungen ergibt, wird als Maßstab angelegt. Die Methode wird praktisch so gehandhabt, daß Chlorsilberauskopierpapier einmal ungefiltert, zweitens unter Objektträgerglas und drittens durch Uviolglas gefiltert belichtet wird. Das Objektträgerglas soll nach genauen Messungen nur 1 % des erythemerzeugenden Lichtes durchlassen. Durch das Uviolglas wird die erythemerzeugende Strahlung nochmals unterteilt, denn es soll Strahlen unter $\lambda = 280\ m\mu$ überhaupt nicht und bis $\lambda = 300\ m\mu$ nur geschwächt durchlassen. Man belichtet nun den freiliegenden Papierteil bis zu einem Schwärzungsgrad 100, der als Standardschwärzung angegeben ist. Die Belichtungszeit hierfür wird festgestellt und die einzelnen Schwärzungsgrade unter Objektträgerglas bezw. Uviolglas mit Hilfe einer Schwärzungsskala bestimmt. Dann kann man an einer empirisch gefundenen Tabelle die Menge der erythemerzeugenden Strahlen ablesen. Diese Methode hat den großen Vorteil, daß Flüssigkeiten, die die Arbeit erschweren, umgangen sind. Es ergeben sich dieselben Werte wie bei der Bering-Meyer'schen Jodmethode. Vielleicht durch die gröbere Methodik etwas schlechtere Resultate, aber nach Keller ausreichend für die Praxis. Prinzipiell genügt die Genauigkeit eines Dosismessers ja auch, wenn sie der Empfindlichkeit der Haut entspricht. Da die Hautreaktion auf Dosissteigerungen unter 10 % nicht mit Wirkungssteigerung antwortet, so ist eine größere Meßgenauigkeit unnötig. Schall und Alius wollen allerdings schon bei 5 % Dosissteigerung Wirkungssteigerungen gesehen haben. — Zur Kritik der Keller'schen Methode ist zu sagen, daß auch sie verschiedene Fehlerquellen hat, die von Fall zu Fall nicht ohne weiteres zu übersehen sind. Das Alter des Papiers z. B. ist mit maßgebend für seine Empfindlichkeit. Wenn man nun angibt, daß ein Papier höchstens bis zu einem Alter von einem halben Jahr verwendet werden kann, so sollte man demselben doch auch einen Ver-

merk über sein Alter mit auf den Weg geben oder einen Termin angeben, von dem ab das Papier nicht mehr benutzt werden soll. Dazu kommt die Schwierigkeit der genauen Ablesung, die empfindlich gestört werden kann durch verschiedene Farbtönung der resultierenden Schwärzungsgrade. Es sei noch hingewiesen auf die Differenzen, die sich bei verschiedener Beleuchtung für die Ablesung ergeben; erwähnt sei auch die schon angeführte Aenderung der Filtergläser unter dem Gebrauch und daß die primär gleiche Durchlässigkeit selbst für gleiche Glassorten nur sehr beschränkte Gültigkeit hat. Ferner ist das Dosimeter nur brauchbar für Quecksilberdampflampen, ist also vor anderen therapeutischen Lichtquellen nicht zu verwenden.

III. Fürstenau-Aktinometer.

Fürstenau benutzte die elektrische Widerstandsänderung des Selens bei Bestrahlung zur Konstruktion seines Aktinometers. Ein Selenfaden wird unter einer Quarzplatte belichtet. Der Vorteil des Apparats: direkte Zeigerablesung und Beweglichkeit der Auffangdose an einer 5 m langen Litze kompensiert nicht seine Mängel. Es ist bis jetzt auch durch Beigabe von Filtern nicht gelungen, seine selektive Empfindlichkeit auf erythemerzeugende Ultravioletttstrahlen zu beschränken. Seine Empfindlichkeit für sichtbares Licht ist unverhältnismäßig größer als für Ultraviolettstrahlen. Das Aktinometer ist dementsprechend auch heute kaum noch in Verwendung.

IV. Ultraviolett-Aktinometer nach Röver.

Ein weiteres Ultraviolett-Aktinometer wurde von Röver angegeben. Er benutzte die Fluoreszenzerscheinung zur Dosimetrie. Er filterte das einfallende Licht derart, daß angeblich nur biologisch wirksame Strahlen um $\lambda = 300\ m\mu$ auf einen Fluoreszenzschirm wirken konnten. Dessen Helligkeit wurde mit einem Vergleichsfeld von konstanter Helligkeit verglichen. Auch dieses Aktinometer leidet unter dem Fehler, in seiner Empfindlichkeit nicht mit der Hauterythemkurve parallel zu gehen. Es ist nach Schall für kurzwellige Strahlen unter $\lambda = 265\ m\mu$ zu unempfindlich. Außerdem kritisiert Malten, daß es von der Helligkeit der Umgebung und der individuellen Anpassungsfähigkeit, Adaption und Uebung des Beobachters abhängig ist.

V. Lichtelektrische Meßmethoden – ⟨Cadmiumzelle⟩

Eine fünfte wichtige und brauchbare Meßmethode beruht auf dem sog. Hallwachseffekt: eine negativ aufgeladene Elektrode entlädt sich unter Bestrahlung mit kurzwelligem Licht. Die selektive Empfindlichkeit der Elektrode ändert sich mit dem bestrahl-

ten Metall. Cadmium, Zink und Aluminium reagieren hauptsächlich auf Ultraviolett, Kalium und Natrium noch dazu auf sichtbare, Rubidium und Caesium auch auf ultrarote Strahlen. — Zur Messung des erythemerzeugenden Ultraviolettlichtes ist die Cadmiumzelle gebräuchlich, die auf Strahlung langwelliger als $\lambda = 334\ m\mu$ nicht, hauptsächlich erst auf solche unter $\lambda = 300\ m\mu$ reagiert. Nach Dorno und Vahle stimmt die Empfindlichkeitskurve einer Cadmiumzelle mit Uviolglaswandung mit der Hautempfindlichkeitskurve von Haußer und Vahle gut überein. Nach genauen Messungen von Rüttenauer ist es aber bis jetzt auch durch Filter noch nicht gelungen, exakte Uebereinstimmung zu erzielen. Es ist daher nicht möglich, mittels der Cadmiumzelle den erythemerzeugenden Anteil der Ultraviolettstrahlen genau zu erfassen, sofern sich die Lichtquellen in ihrer spektralen Intensitätsverteilung im Ultravioletten unterscheiden. Außerdem ist es heute noch nicht möglich, zwei Cadmiumzellen mit genau gleicher spektraler Empfindlichkeit herzustellen. Wieder ist die Fehlerquelle durch die mangelhafte Monochromasie des Filters oder des Uviolglases, das für die Zellwandung Verwendung findet, gegeben.

Wenn man dazu weiß, daß Zellen mit chemisch reinstem Cadmium viel weniger und in anderem Spektralbereich empfindlich sind als solche Zellen, die Verunreinigungen im Cadmium haben, so kann man Verschiedenheiten leicht verstehen. Welche Schwierigkeiten die Abstimmung zweier Cadmiumzellen macht, geht aus der Arbeit von Schultze und Haendel „Vergleichende Strahlungsmessungen zwischen Hochgebirge und Mittelgebirge" und einer Arbeit von Mörikofer hervor.

Damit sind wohl die Methoden erwähnt, die verhältnismäßig am meisten in die Praxis Eingang gefunden haben. Die Zahl der Konstruktionen von Dosismessern ist damit aber noch nicht erschöpft.

VI. Weitere physikalische Meßmethoden.

Szilard versuchte die Cadmiumzelle durch Vorschalten einer Quarzplatte anstelle der Uviolglasscheibe zu verbessern. Diese Quarzcadmiumzelle läßt aber Strahlen bis $\lambda = 210\ m\mu$ durch, hat also ein zu weit ins kurzwellige Gebiet verschobenes Maximum.

Rajewski baute eine Jonisationskammer für Ultraviolettstrahlen, die angeblich der Hautempfindlichkeit angepaßt werden kann. Hierher gehört auch das Mekapion von Strauß.

Unter Benutzung der Fluoreszenzerregung ist von Gyemant ein Verfahren ausgearbeitet worden. Von verschieden stark fluoreszierenden Schirmen gibt der unter einer bestimmten Belichtung gerade eben noch aufleuchtende Schirm ein Maß für die Lichtintensität an.

Nicht zu vergessen ist auch das Graukeilphotometer von Eder und Hecht, das von Freund in die Ultraviolettlichtdosimetrie eingeführt wurde. Seine Unbrauchbarkeit geht daraus hervor, daß das erythemerzeugende Ultraviolett den verwendeten Glaskeil gar nicht restlos durchdringt. Das darunter liegende Photometerpapier wird also auch nicht der ursprünglichen Strahlungsintensität entsprechend geschwärzt.

Als Letztes soll noch erwähnt werden, das Uvaumeter von Kohl. Es wird dabei der Abfall eines zuerst aufgeladenen Elektroskops gemessen. Durch eine Filtereinrichtung ist es möglich, einzelne Wirkungsgruppen des Lichtes quantitativ zu erfassen, leider ist aber das gesamte Ultraviolett als eine Wirkungsgruppe zusammengefaßt, und was die Filter anbetrifft, so ist über deren Fehlerquellen schon gesprochen worden.

Auf die thermoelektrischen und bolometrischen Meßmethoden, die die einwandfreiesten Intensitätsbestimmungen zulassen, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden, da sie nur für absolute Messungen in Frage kommen und eine zu komplizierte Apparatur erfordern.

VII. Weitere chemische Meßmethoden.

Anderson-Robinson konstruierten ein Ultraviolett-Radiometer, das nach einem ähnlichen Prinzip wie Meyer-Berings Jodmethode durch Titration zu entsprechenden Werten führt. Eine wässerige Lösung von Oxalsäure wird in Gegenwart von Uranylsulfat durch Licht zersetzt. Nach Belichtung wird die übrige Oxalsäure durch Titration mit Kaliumpermanganat bestimmt.

Clark benutzte die Schwärzung eines Gemisches von Zinksulfid und Bariumsulfat. Die angebliche Empfindlichkeit des Gemisches gegen Wellenlängen unter $\lambda = 320\ m\mu$ soll der Hauterythemkurve entsprechen.

Webster, Hill und Eidinow benutzten die Entfärbung von Methylenblau in Acetonlösung zur Dosimetrie, Saidman die Verfärbung einer Paraphenyldiaminoverbindung.

Levy und West benutzten die Intensität der Gelbfärbung, einer Mischung von Chloralformamid und Diphenylamin.

Die Zahl der Ultraviolett-Meßmethoden zeigt einesteils das Bedürfnis nach Dosismessern, andererseits aber, daß die bisherigen Methoden nicht voll befriedigten.

VIII.

Als neuestes Instrument steht am Ende dieser Reihe der Lichtdosismesser, angegeben von Weyde, hergestellt bei den I. G.-Farben im Ammoniaklaboratorium Oppau-Ludwigshafen a. Rh., vertrieben durch Siemens-Reiniger & Veifa. Die Kenntnis der

Tatsache, daß farblose alkoholische Lösungen von Leukocyaniden der Triphenylmethanfarbstoffe sich im Licht färben und im Dunkeln dann wieder entfärben, führte zu seiner Konstruktion. Die drei eingangs erwähnten Grundbedingungen eines brauchbaren Lichtdosismessers sind mit zur Zeit größtmöglicher Annäherung erfüllt. Bei größter Einfachheit der Handhabung gibt der Dosismesser mit einer für die Praxis ausreichenden Genauigkeit die Ultraviolettstrahlung an, die zum Erythem führt. Der Apparat selbst besteht aus einem mit Leukozyanid gefüllten abgeschmolzenen Quarzröhrchen, das in bestimmter Entfernung der zu untersuchenden Lichtquelle ausgesetzt wird. Bei der Ablesung vergleicht man die Blaufärbung der Lösung mit einem in den Apparat eingebauten Blaukeil. Die Beobachtung der Blaufärbung geschieht durch eine Länge von 12 cm, die der Länge des ganzen Röhrchens entspricht. Die Färbung des Blaukeils ist in drehbarer Skala in 10 Teile unterteilt. Auf einer beigegebenen Tabelle sind dann die empirisch gefundenen, dem betreffenden Skalenteil entsprechenden Zeiten angegeben, die zu einem leichten, bezw. starken Erythem führen. Zu beachten ist, daß Lichtdosismesser und Versuchsperson im gleichen Abstand von der Lichtquelle belichtet werden. Das Lichtverteilungsgesetz, nach dem für punktförmige Lichtquellen die Intensität umgekehrt proportional dem Quadrat (Exponent 2) der Entfernung ist, gilt für unsere Gebrauchslichtquellen nicht unumschränkt. Es steht im Gegensatz zu dem von Plotnikow für unendlich lange und unendlich dünne Lichtstrahler gefundenen Proportionalitätsgesetz: die Intensitätsabnahme ist proportional (Exponent 1) der Entfernung. Da die Gebrauchslichtquellen weder punktförmig noch unendlich lang und dünn sind, liegt ihr Proportionalitätsexponent zwischen 1 und 2.

Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen wurden mit dem neuen Lichtdosismesser Versuche angestellt, die erweisen sollten, ob das Dosimeter für die Praxis brauchbar sei. Aber um einigermaßen verwertbare Ergebnisse zu erzielen, mußten noch andere Faktoren berücksichtigt werden, so z. B. die Betriebsverhältnisse der benutzten Lichtquellen. Eine Konstanz der Lichtemission ist nur zu erwarten, wenn die Angaben für Strom und Spannung konstant bleiben. Eine Spannungsminderung zieht ohne weiteres auch eine Intensitätsminderung nach sich, und die Spannung hängt nicht nur von der zugeleiteten Strommenge ab, sondern in hohem Maße auch vom Widerstand der benutzten Lampe, der sich mit der Temperatur ändert. Wucherpfennig konnte nachweisen, daß eine Senkung der Umgebungstemperatur einer Quecksilberdampflampe um 16 % ein Sinken der Wattzahl um 6,7 % veranlaßt. Bei unseren Versuchen wurden Strom und Spannung immer mit Volt- und Amperemeter kontrolliert.

Eine andere schwierige Frage ist die Ausschaltung der individuellen und regionären Empfindlichkeit der Versuchspersonen.

Bezüglich der regionären Empfindlichkeit hat Keller 4 Gruppen unterschieden. Er setzt für Bauch, Brust, Rücken und Kreuzbeingegend den relativen Wert 100—75 % ein; dann ergaben sich für:

Ellenbeuge, Oberarm außen 75—50 %;

Hals, Stirn, Kniekehle, Wade, Oberschenkel 50—25 %;

Unterschenkel, Schienenbeinfläche, Handrücken 25 %.

Die individuelle Empfindlichkeit ist bis jetzt noch nicht meßbar. Um die verschiedene Empfindlichkeit auszuschalten, wurden alle Probebelichtungen bei drei Versuchspersonen verschiedenen Typs ausgeführt (rotblond, blond, brünett). Aus jeder Gruppe wurde eine Versuchsperson mittleren Alters ausgewählt. Verglichen wurden immer nur analog liegende Hautstellen. Belichtet wurde zu einer Zeit im Spätwinter, in der die Lichtgewöhnung individuelle Unterschiede noch nicht verstärkt haben konnte, wie evtl. die Gewöhnung an die Sommersonne. Nicht zuletzt ist auch darauf zu achten, daß die Strahlen senkrecht zur Haut einfallen.

Unter Berücksichtigung aller genannten Vorsichtsmaßregeln gestaltete sich nun unsere Versuchsanordnung folgendermaßen. Mit dem zu prüfenden Lichtdosismesser wurde die Zeit, die zu einem leichten Erythem führen sollte, bestimmt. Sofort anschließend wurde unter Kontrolle von Volt- und Amperemeter in gleichem Abstand, meist 50 cm, ein Patient belichtet. Die Klemmenspannung im Gleichstromnetz der Gießener Hautklinik, die normalerweise geringen Schwankungen um 220 Volt unterworfen ist, wurde durch den Kurbelwiderstand einer Schalttafel bei den Versuchen auf 220 Volt gehalten. Ein einfaches Klappenphotometer gestattete Stufenbelichtung über 10 gleich große Felder. Der übrige Körper wurde bei allen Belichtungen sorgfältig abgedeckt, um die Belichtung größerer Hautpartien zu vermeiden. Es sollte damit die Lichtgewöhnung hintangehalten werden. Die Zeiten wurden so gewählt, daß sie um die vom Dosismesser angegebene Zeit ungefähr symmetrisch nach oben und unten verteilt waren. Wenn z. B. die Soll-Belichtungszeit nach dem Dosimeter (Minimalerythemzeit) 13 Minuten betragen sollte, so wurden die einzelnen Felder 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 Minuten belichtet. Die Ablesung des entstandenen Erythems erfolgte immer noch 6 Stunden. Um möglichst einfache Verhältnisse zu haben, wurden nur zwei Erythemgrade unterschieden, die auch ohne Hilfsmittel von einander abzugrenzen waren. Mit 2 wurde eine sehr deutliche Rötung bezeichnet, 1 hieß eine Rötung, die sich noch gut von der Umgebung abhob. Nur selten wurden Zwischenwerte eingeschaltet, z. B. 1 2 für ein angedeutetes, eben noch erkennbares Erythem. Das Klappenphotometer wurde immer mit einer Binde auf einem Schulterblatt oder zwischen beiden Schulterblättern befestigt. Bei den Sonnenversuchen wurde zur Schonung der Versuchspersonen ein Bauchfeld benutzt. Nach

der vorn angegebenen Gruppeneinteilung der regionären Empfindlichkeit nach Keller war dieser Wechsel möglich. Bauch und Rücken sollen danach ja gleiche Empfindlichkeit haben. Die Versuche mit einer Lichtquelle wurden an einem Tag und unter gleichen Bedingungen an drei Personen, d. h. je einer rotblonden, einer blonden und einer brünetten Person durchgeführt. Um zu erproben, ob der neue Dosismesser für Lichtquellen mit verschiedenster spektraler Verteilung und Intensität einschließlich der Sonne brauchbar sei, wurden 18 verschiedene Strahler benutzt.

(Benutzte Lichtquellen siehe beiliegende Tabelle).

Bei sämtlichen Versuchen wurden vor und nach der Belichtung der Versuchspersonen Messungen mit zwei Dosismessern ausgeführt, bei längeren Belichtungszeiten auch noch während der Bestrahlung. Die angegebenen Ablesungswerte stellen die Grenzwerte sämtlicher Messungen mit beiden Apparaten dar. Die ab und zu auftretenden Differenzen beruhen wohl nur auf Ableseungenauigkeiten, die sich bei Farbvergleichungen nie ganz vermeiden lassen, noch dazu, wenn die Vergleichsfelder verschieden groß und verschieden geformt sind. Also auch hier begrenzt die Leistungsfähigkeit des Auges die Leistungsfähigkeit des Dosismessers, d. h. die Ungenauigkeit des Apparates ist zu einem Großteil durch den Ablesenden selbst bedingt.

Versuche.

Alle Versuche sind in der folgenden Tabelle (Seite 16 und 17) übersichtlich zusammengestellt. Einzelheiten bedürfen noch der Erklärung.

Versuch 1. Belichtet wurde dabei mit einer Kandem-Hochspannungsbogenlampe nach Dr. Matthiesen, in der Wolfram-Dochtkohlen gebrannt wurden. Zu achten war auf gleichbleibende Größe des Lichtbogens, der durch Abbrennen der Kohlen sich vergrößerte und damit auch die Stromstärke bezw. die Intensität der Strahlung größer werden ließ. In ca. 6 verschiedenen Messungen (50 cm Abstand, 30 Sekunden Belichtung) mit zwei Dosismessern wurden 0,8—1,0 Skalenteile am Blaukeil abgelesen. Es ergab sich daraus nach der Tabelle eine Belichtungszeit von 13 Minuten für ein leichtes Erythem. Wie schon vorher dargelegt, wurden 9—18 Minuten belichtet. Die Minimal-Erythemzeit ist der Ausgangspunkt für die Variation in der Belichtungszeit. In der Tabelle sind diese Minimal-Erythemzeiten besonders hervorgehoben. Bei der Ablesung nach 6 Stunden ergaben sich für das entstandene Erythem die Werte 2 bei der rotblonden, 1 bei der blonden und 1/2 bezw. Spuren von Erythem bei der brünetten Versuchsperson. Entsprechend der allgemein bekannten Tatsache war die individuelle Empfindlichkeit größer bei dem rotblonden und kleiner bei dem brünetten Individuum. Andererseits zeigte sich schon bei diesem ersten Versuch wie auch späterhin immer wieder, daß die Angabe des Dosismessers bezüglich der Belichtungszeit relativ zuverlässig war.

Versuch 2. Benutzt wurde dieselbe Bogenlampe mit Eisendochtkohle. Eine Unachtsamkeit brachte einen Beweis für die Reaktionsfähigkeit des Dosismessers. In der Zwischenzeit zwischen der Belichtung des ersten und des zweiten Patienten wurde vergessen, den Lichtbogen von Hand nachzuregulieren. Das Amperemeter zeigte statt 6,5 Ampere 7, zuletzt 7,5 Ampere an, der Dosismesser statt 1,2—1,4 1,5—1,7 Skalenteile, und der Patient später eine dementsprechende Reaktion. Es ist vielleicht gut, an dieser Stelle darauf aufmerksam zu machen, daß auch die Handhabung eines so einfachen Apparates eine gewisse Uebung erfordert, die durch vorhergehende Blindversuche mehr oder weniger erworben werden kann.

Versuch 3. Bei Versuch 3 und 4 wurden Kandem-Hochspannungsbogenlampen verwendet, in die ein selbsttätig arbeitendes Regelwerk eingebaut war. Dieses glich die durch Abbrennen der Kohlen entstehenden Intensitätsschwankungen aus. — Durch eine während des Versuchs nicht bemerkte Bewegung der dritten

Lichtquelle		Typ I. : Rotblond.											
Kandenhochspannungs-bogenlampe Wolfram- I. dochtkohle 6 A., 220 V.	Belichtungszeit	18′	17′	16′	15′	14′	**13′**	12′	11′	10′	9′	18′	17′
	Rötungsgrad	2	2	2	2	2	**2**	1	1	1	1	**1**	1
Kandenhochspannungs-bogenlampe Eisendocht- II. kohle 6 A., 220 V.	Belichtungszeit	18′	17′	16′	15′	14′	13′	**12′**	11′	10′	9′	18′	17′
	Rötungsgrad	2	2	2	2	**2**	1	**2**	1	1	1	2+	2+
Kandenhochspannungs-bogenlampe Wolfram- III. dochtkohle 12 A., 220 V.	Belichtungszeit	18′	17′	16′	15′	**14′**	13′	12′	11′	10′	9′	18′	17′
	Rötungsgrad	2	2	2	2	2	2	1	**1**	1	1	1	1
Kandenhochspannungs-bogenlampe IV. 18 A.; 220 V.	Belichtungszeit	**2′**	1′53″	1′46″	1′39″	1′32″	1′25″	1′18″	1′11″	1′04″	0′57″	2′30″	2′20″
	Rötungsgrad	**2**	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2
Jupiterlampe Eisendochtkohle V. 9.5 A.; 220 V.	Belichtungszeit	3′	2′54″	2′48″	2′42″	**2′36″**	2′30″	2′24″	2′18″	2′12″	2′06″	3′	2′54″
	Rötungsgrad	2	2	2	2	**1**	1	1	1	½	½	1	1
Quecksilberdampflampe 203827 VI. 1 A.; 220 V.	Belichtungszeit	5′	4′50″	4′40″	4′30″	4′30″	**4′10″**	4′	3′50″	3′40″	3′30″	5′	4′50″
	Rötungsgrad	2	2	2	2	2	**2**	2	2	1	1	2	2
Jesioneklampe 282608 VII. 3.5 A.; 220 V.	Belichtungszeit	1′	57″	54″	51″	48″	**45″**	**42″**	39″	36″	33″	1′	57″
	Rötungsgrad	2	2	2	2	2	**2**	**2**	2	1	1	2	2
Bachlampe 319542 VIII. 3 A.; 220 V.	Belichtungszeit	2′	**1′55″**	1′50″	1′45″	1′40″	1′35″	1′30″	1′25″	1′20″	1′15″	2′	1′55″
	Rötungsgrad	2	**2**	2	2	2	**1½**	1	1	1	1	2	**2**
Kromeyerlampe 8805 IX. 3.5 A.; 220 V.	Belichtungszeit	3′	2′54″	2′48″	2′42″	2′36″	2′30″	2′24″	2′18″	2′12″	**2′06″**	3′	2′54″
	Rötungsgrad	2	2	2	2	2	2	2	1	1	**1**	1	1
Kromeyerlampe 3621 X. 3.2 A.; 220 V.	Belichtungszeit	2′	1′54″	1′48″	1′42″	1′36″	1′30″	**1′24″**	1′18″	1′12″	1′06″	2′	1′54″
	Rötungsgrad	2	2	2	2	**2**	2	2	1	1	1	1?	1
Jänickelampe 787 XI. 2.7 A.; 220 V.	Belichtungszeit	5′	4′48″	4′36″	4′24″	4′12″	4′	3′48″	3′36″	**3′24″**	3′12″		Ne
	Rötungsgrad	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1		Bei
Solarcalampe XII. 3.7 A.; 220 V.	Belichtungszeit	1′	57″	54″	**51″**	48″	45″	42″	39″	36″	33″	1′	57″
	Rötungsgrad	1	1	1	½	½	½	0	0	0	0	1	1
Vitaluxlampe XIII. 2.5 A.; 220 V.	Belichtungszeit	60′	60′	60′	60′	60′	80′	80′	80′	80′	80′	60′	60′
	Rötungsgrad	?	?	0	0	0	½	½	?	?	0	?	0
Sonne XIV. 13. V. 31.	Belichtungszeit	60′	55′	50′	**45′**	40′	35′	30′	25′	20′	15′	60′	55′
	Rötungsgrad	2	2	**1½**	**1**	1	½	½	?	0	0	1	1
Quarzcadmiumlampe Neukonstruktion ohne Filter, XV. 1.5 A.; 215 V.	Belichtungszeit	1′	57″	54″	51″	48″	**45″**	42″	38″	36″	33″	1′	57″
	Rötungsgrad	2	2	2	2	2	**2**	**2**	1	1	1	½	½
Quarzcadmiumlampe Neukonstruktion. mit Filter XVI. 4.5 A.; 215 V.	Belichtungszeit	5′	4′48″	4′36″	4′42″	4′12″	4′	3′48″	**3′36″**	**3′24″**	3′12″	5′	4′48″
	Rötungsgrad	2	2	2	2	2	2	1	**1**	**1**	1	½	½
Quarzcadmiumlampe I. Konstruktion, ohne Filter XVII. 3.3 – 4.2 A., 220 V.	Belichtungszeit	**1′**	57″	54″	51″	48″	45″	42″	39″	36″	33″	1′	57″
	Rötungsgrad	1	1	1	1	0	0	0	½	½	½	1	1
						Tangentialstrahlen?							
Quarzcadmiumlampe I. Konstruktion. mit Filter XVIII. um 4 A.; 220 V.	Belichtungszeit	5′	4′48″	4′36″	4′24″	4′12″	4′	**3′48″**	**3′36″**	**3′24″**	3′12″	**5**	4′48″
	Rötungsgrad	2	2	2	2	1	1	**1**	**1**	½	½	**1**	1
Sonne XIX. 27. VI. 31.	Belichtungszeit	60′	57′	54′	51′	48′	45′	42′	39′	**36′**	**33′**	60′	57′
	Rötungsgrad	2	2	2	2	1	1	1	½	½	½	2	2

Erläuterungen im T

II. : Blond.						Typ III. : Brünett.						abgelesene Skalenteile	Minimal-erythemzeit
14'	13'	12'	11'	10'	9'	18'	17'	16'	15'	14'	13'	12'	11'	10'	9'	0,8—1,0	13'.
1	1	½	½	½	½	1	1	1	1	1	½	½	0	0	0	30"	
14'	13'	12'	11'	10'	9'	18'	17'	16'	15'	14'	13'	12'	11'	10'	9	1,2—1,4	12'.
2	2	2	1+	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	½	½	30" bei II. 1,6-1,7	11'.
14'	13'	12'	11'	10'	9'	18'	17'	16'	15'	14'	13'	12'	11'	10'	9'	0,8	14'.
1	1	1	1	½	½	½	½	1	1	1	1	1	1	½	½	30"	
1'50"	1'40"	1'30"	1'20"	1'20"	1'	2'30"	2'20"	2'10"	2'	1'50"	1'40"	1'30"	1'20"	1'10"	1'	8,8—9,0	2'.
2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	½	½	½	30"	
2'36"	2'30"	2'24"	2'18"	2'12"	2'06"	3'	2'54"	2'48"	2'42"	**2'36"**	2'30"	2'24"	2'18"	2'12"	2'06"	7,5	2'36"
½	½	½	½	½	½	2	2	1	1	1	1	1	1	½	½	30"	
4'20"	**4'10"**	4'	3'50"	3'40"	3'30"	5'	4'50"	4'40"	4'30"	4'20"	**4'10"**	4'	3'50"	3'40"	3'30"	5,2—5,3	4'10"
1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	30"	
48",	45"	42"	39"	36"	33"	1'	58"	54"	51"	48"	**45"**	**42"**	39"	36"	33"	8,8—9,0	42—45"
1	1	1	1	1	½	2	2	2	2	2	**2**	**1**	1	½	½	30 bei II 8,5-8,8	48"
1'40"	1'35"	1'30"	1'25"	1'20"	1'15"	2'	**1'55"**	1'56"	1'45"	1'40"	1'35"	1'30"	1'25"	1'20"	1'15"	9,0—9,2	1'54"
1	1	1	1	½	½	2	**2**	2	2	2	1	1	1	½	½	30"	
2'36"	2'30"	2'24"	2'18"	2'12"	**2'06"**	3'	2'54"	2'48"	2'42"	2'36"	2'20"	2'24"	2'19"	2'12"	**2'06"**	8,5—9,0	2'
1	½	½	½	½	½	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	30 bei I. 8,0-8,5	
1'36"	1'30"	1'24"	1'18"	1'12"	1'06"	2'	1'54"	1'48"	1'42"	1'36"	1'30"	**1'24"**	1'18"	1'12"	1'06"	10	1'24"
½	½	½	½	0	0	2	2	2	2	2	1	**1**	1	1	1	30" bei II. 6,5	3'
uchsperson. s. Text						5'	4'48"	4'37"	4'24"	4'12"	4'	3'48"	3'36"	**3'24"**	3'12"	6,0—6,5	$3'18"—3_{30}"$
uchen kein Erythem.						1	1	1	1	1	½	½	½	½	½	30"	
48"	45"	**42"**	39"	36"	33"	1'	57"	54"	51"	48"	45"	**42"**	39"	36"	33"	9	42"
½	½	½	½	0	0	1	1	1	1	½	½	½	0	0	0	10" bei I. 8	51"
60'	**90'**	**90'**	**90'**	**90'**	**90'**	Beide Versuche an Typ T										3	ca 90—100
0	½	½	½	½	½											4'	
40'	35'	30'	25'	20'	15'	60'	55'	50'	**45'**	**40'**	35'	30'	25'	20'	15'	4,5—5,0	ca 40—50
1	½	½	0	0	0	½	½	½	½	½	?	?	0	0	0	4'	
48"	45"	**42"**	39"	36"	33"	1'	57"	54"	51"	48"	45"	**42"**	39"	36"	33"	9	42"
0	0	**0**	0	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1	½	½	10'	
4'12"	4'	3'48"	**3'36"**	**3'24"**	3'12"	5'	4'48"	4'36"	4'24"	4'12"	4'	3'48"	**3'36"**	3'24"	3'12"	6	3'30"
?	?	0	**0**	**0**	0	1	1	1	1	1	1	1	½	½	½	30"	
48'	45"	**42"**	39"	36"	33"	90"	86"	82"	78"	74"	70'	66'	62'	58'	**54'**	bei I. 6,2-6,5 bei II. ca 9,0 bei III ca 7,5 10^{m}	ca 1' ca 42' ca 54'
½	½	½	?	?	?	2	2	2	1	1	1	1	½	½	½		
4'12"	4'	3'48"	3'36"	3'24"	3'12"	**5'**	4'48"	4'36"	4'24"	4'12"	4'	3'48"	3'36"	3'24"	3'12"	bei I. 6,2 abn	3'24"
1	1	1	½	½	½	1	1	1	½	½	½	0	0	0	0	bei II. 4,5 b. III. 4,0 abn.	5' 5'
48'	45'	42'	39'	**36'**	**33'**	60'	57'	54'	51'	48'	45'	42'	39'	**36'**	**33'**	5,5—6,0	ca 35'
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	4'	
																Expositions-zeit	

Versuchsperson sind die zwei Erythemfelder, die am längsten belichtet wurden (17 und 18 Minten), aus ihrer zur Lichtquelle senkrechten Lage verschoben worden. Der Effekt dieser Bewegung äußert sich in der Tabelle durch eine geringere Erythemzahl der betreffenden Felder. Verwendet wurde eine Kandem-Hochspannungsbogenlampe mit Wolfram-Dochtkohle (12 Ampere).

Versuch 4. Wieder Kandem-Hochspannungsbogenlampe mit Wolfram-Dochtkohle (18 Ampere Wechselstrom). Durch die kürzere Belichtungszeit sind einwandfreiere Versuchsbedingungen gegeben. Zwei Minuten lang können die Versuchspersonen auch geringe evtl. störende Bewegungen vermeiden. Aus der Tabelle ergab sich eine minimale Erythemzeit von 2 Minuten (8,8—9,0 Skalenteile, 30 Sekunden Belichtungszeit). Typ 2 und 3 (blond und brünett) wurden 1—2 1/2 Minuten belichtet. Typ 1 (rotblond) wurde, um ein evtl. Beschwerden machendes Erythem zu vermeiden, bis maximal 2 Minuten exponiert. Das Ergebnis war wie zu erwarten, Typ 2 und 3 zeigten etwas geringere Erythemgrade als Typ 1.

Versuch 5. Jupiterlampe mit Eisendochtkohle. Bei diesem Lampentyp ereignet es sich oft, daß der Lichtbogen an den parallel gestellten Kohlen nicht an der Spitze der Kohlen ansetzt, sondern einige Millimeter unterhalb derselben. Daß die zweite Versuchsperson weniger reagierte als die beiden anderen, könnte auf einer derartigen Aenderung des Lichtbogens beruhen. Ein unverkennbares Erythem war aber auch hier vorhanden.

Versuch 6. Bei diesem Versuch mit einer kleinen Quecksilberdampflampe bietet sich, wie aus der Tabelle klar ersichtlich, ein einwandfreies Bild.

Versuch 7. Quecksilberdampflampe nach Jesionek. Beim Patienten Typ 2, der als letzter belichtet wurde, hatte sich die Lampenintensität etwas verringert. Der Effekt war am Dosismesser und am Patienten gleichermaßen zu erkennen.

Versuch 8 und 9. Quecksilberdampflampe nach Bach, bezw. Quecksilberdampflampe nach Kromeyer. Die Ergebnisse sind unzweideutig aus der Tabelle abzulesen.

Versuch 10. Quecksilberdampflampe nach Kromeyer. Kurz vor der Belichtung von Typ 2 wurde die Lampe angestoßen; der Lichtbogen begann zu flackern. Dadurch muß sich die Strahlungsintensität der Lampe merklich verringert haben. Dosismesser und Versuchperson reagierten vollkommen gleichsinnig.

Versuch 11. Quecksilberdampflampe nach Jänicke unter atmosphärischem Druck. Wegen Entlassung einer Versuchsperson, und zwar des blonden Typs, mußte ein neuer Patient des gleichen Typs ausgewählt werden. Bei den Versuchen 11, 15

und 16 wurde diese neue Versuchsperson belichtet. Es handelte sich um einen Zimmermann, der schon öfters mit entblößtem Oberkörper in der Sonne gearbeitet hatte und daher ziemlich pigmentiert war. Es ist interessant, daß bei ihm in der vom Dosismesser angegebenen Zeit in zwei Versuchen kein Erythem erzeugt werden konnte. In den Versuchen 15 und 16 waren wenigstens Spuren von Rötung zu erkennen.

Versuch 12. Solarcalampe. Es entstanden ganz allgemein geringere Erythemgrade, als nach den vorausgegangenen Erfahgen dem Dosismesser entsprechend hätten entstehen sollen. Die Kritik dieser Erscheinung erfolgt wie bei Versuch 13 am Schluß.

Versuch 13. Vitalux-Lampe. Eine Belichtungszeit von 1 1/2—2 Stunden bewegungslos auszuhalten, wurde nur einer Versuchsperson zugemutet. Diese stellte sich aber zweimal in den Dienst der Sache. Das Ergebnis zeigte wiederum geringere Erythemgrade als zu erwarten gewesen wären.

Versuch 14. Sonne. Wie schon oben erwähnt, wurden bei Sonnenbelichtung aus Rücksicht auf die Versuchspersonen Bauchfelder gewählt. Die Dosismesser zeigten während der Belichtungszeit einen Intensitätsanstieg der Sonnenstrahlung entsprechend der Sonnenhöhe. Der Mittelwert ergab eine Sollbelichtungszeit von 40—50 Minuten. Die gleichzeitig mit der Cadmiumzelle während des Versuchs gemessenen Werte bei 56—57,2 Grad Sonnenhöhe liegen zwischen 180 und 195 Galvanometerskalenteilen reduziert auf Davos. Die nach 6 Stunden abgelesenen Erytheme zeigten wieder den erwarteten Abfall von Typ 1 nach 3, waren aber in allen drei Fällen deutlich, d. h. den Dosimeterangaben angepaßt. — Zu bemerken ist, daß dem Dosimeter ein Gelb-Grünfilter beigegeben ist, welches bei Versuchen mit der Sonne die langwellige Strahlung der Sonne abblenden soll. Diese nicht-erythemerzeugende Strahlung übt auf die Testlösung des Dosismessers noch eine merkbare Wirkung aus, die vermieden werden muß (siehe Schluß).

Versuch 15 und 16. Quarzcadmiumlampe, neue Konstruktion ohne bezw. mit Filter. Bei Typ 1 und 3 ein klares Bild. Typ 2 zeigte, wie oben schon erörtert, nach der vom Dosismesser festgelegten Belichtungszeit noch kein Erythem, das aber nach einigen Sekunden längerer Belichtung doch auftrat.

Versuch 17 und 18. Quarzcadmiumlampe, alte Konstruktion ohne bezw. mit Filter. Durch dauernde Intensitätsschwankungen der damals noch nicht einwandfrei durchkonstruierten Quarzcadmiumlampe sind diese Versuche ungünstig beeinflußt worden. Interessant ist nur, zu bemerken, daß die Dosismesser den Schwankungen getreu folgten, wie ja zum Teil aus der Tabelle ersichtlich ist.

Versuch 19. Sonne. Zuletzt wurde Ende Juni nochmals ein Sonnenversuch angestellt, der sowohl an den entstandenen Erythemen als auch entsprechend an den Dosimeterwerten das Ansteigen der Strahlungsintensität der Sonne seit Mitte Mai erkennen ließ. Bei 54,5 -60 Grad Sonnenhöhe liegt im Mittel die mit der Cadmiumzelle gemessene Ultraviolettintensität zwischen 190 und 230 Galvanometerskalenteilen reduziert auf **Davos**.

Zur Kritik des neuen Dosismessers ist nun noch Verschiedenes zu sagen. Der Apparat ist nicht unbeschränkt brauchbar. Durch häufige Bestrahlung der Testlösung kommt es allmählich zu einer, durch eine photochemische Nebenreaktion bedingten Veränderung derselben, die sich in einer Gelbfärbung der Lösung in unbestrahltem Zustande zu erkennen gibt. Es können nur ca. 300 bis 500 Messungen ausgeführt werden, dann muß das Quarzröhrchen ersetzt werden. Daß die Messungen des Instrumentes mit einem Fehler von ± 20 % behaftet sind, ist bei der starken individuellen Verschiedenheit der Lichtempfindlichkeit nicht so sehr ins Gewicht fallend. Diese Fehlergrenze könnte aber m. E. etwas herabgesetzt werden, wenn man die Vergleichung der Blaufärbung vereinfachte. Da die Vergleichsfelder in dem Apparat räumlich auseinander liegen und verschiedene Formen haben, ist eine genaue Abgleichung bedeutend erschwert. — Ein weiterer Einwand, der von Dresler gemacht wurde, ist nicht zu umgehen. Die phototrope Lösung in dem Quarzröhrchen reagiert nicht nur auf die erythemerzeugenden Ultraviolettstrahlen. Nach Dresler tritt auch eine Blaufärbung dieser Testlösung ein, wenn das Röhrchen durch ein Rubinglasfilter mit der Sollux-lampe belichtet wird, d. h. wenn keine Ultraviolettstrahlen, sondern nur rote bezw. ultrarote Strahlen die Lösung treffen. Daraus geht unzweifelhaft hervor, daß der Dosismesser für die Messung der durch Temperaturstrahler erzeugten Ultraviolettstrahlen infolge seiner gleichzeitigen Wärmeempfindlichkeit nur beschränkt brauchbar ist.

Damit in Einklang stehen unsere Ergebnisse bei der Solarca- und der Vitalux-Lampe (Versuche 12 und 13). In beiden Fällen entsprach die Intensität des entstandenen Erythems nicht ganz den nach der Messung zu erwartenden Größen. Die Erklärung wird dadurch gegeben, daß Wärmestrahlen, die für die Erythemerzeugung nicht in Frage kamen, eine intensivere Blaufärbung der Lösung veranlaßten. — Aus ähnlichen Gesichtspunkten heraus hat Weyde an dem Dosismesser ein Gelb-Grünfilter angebracht. Es soll bei Messung der Sonnenstrahlenintensität die langwellige Strahlung abfiltern. Dieses Filter ist aber recht empfindlich und dürfte bei häufiger Benutzung vor Sonne nicht mehr einwandfrei sein. Hier wäre eine Verbesserung wünschenswert.

Sincke und Grundmann haben die Brauchbarkeit des neuen Photometers für meteorologische und klimatologische Versuche betont, aber die bisherigen Meßergebnisse sind noch nicht ausreichend, um ein definitives Urteil abgeben zu können.

Nach allem Vorausgegangenen können wir heute sagen, daß eine objektive vergleichende Dosismessung verschiedener Lichtquellen und damit die Festlegung einer einheitlichen therapeutischen Dosis noch nicht möglich ist. Wir müssen also heute noch auf den Apparat verzichten, der uns eine genaue physikalische Dosierung von allen therapeutischen Lichtquellen ermöglicht.

Aber man hat jetzt wenigstens einen Apparat zur Hand, der in denkbar einfacher Weise und mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit die zum Erythem führende Ultraviolettstrahlung angibt. Er gestattet auch bezüglich der Minimalerythemzeiten Lichtquellen mit ganz verschiedener spektraler Energieverteilung zu vergleichen, sofern nicht das langwellige Spektralbereich zu stark betont ist.

Wenn die seither gebräuchlichen Methoden sich in der Praxis nicht recht einbürgern konnten, so lag das wohl in der Hauptsache daran, daß sie zu umständlich waren, ein Fehler, der dem neuen Lichtdosismesser nicht anhaftet.

Nach Abschluß der Arbeit wurde aus einer bisher noch nicht veröffentlichten Mitteilung bekannt, daß der Dosismesser schon in dem Sinne eine Verbesserung erfahren hat, wie sie auf Seite 13 bezw. 20 angedeutet ist. Anstelle des Farbvergleichs zweier Blaufelder soll nun der Farbumschlag Rot-Grün als Meßprinzip verwendet werden. Außerdem fällt das Gelb-Grünfilter bei der Neukonstruktion weg. Die Handhabung des Apparats ist unverändert geblieben, aber die Testlösung, die sich seither bei Belichtung blau verfärbte, ist durch eine Lösung ersetzt worden, die sich rot färbt. Die Ablesung geschieht nun nicht mehr durch Farbvergleichung zweier Felder, sondern durch Beobachtung des Farbumschlages Rot noch Grün. Vor dem Kopfende des Teströhrchens können 10 verschieden stark grün gefärbte Felder vorbeigedreht werden. Der grüne Farbton der Felder ist komplementär zur entstehenden Rotfärbung der Testlösung. Wenn die Komplementärfarbe vorgeschaltet wird, muß beim Durchblick durch das Röhrchen ein grauer Farbton erscheinen. Nach Belichtung der Lösung wird nun durch Vorbeidrehen der grünen Felder vor dem Röhrchen das Feld aufgesucht, bei dessen Vorschaltung weder Rot noch Grün, sondern Grau erscheint. Die Nummer des vorgeschalteten Feldes entspricht dem Skalenteil des Blaukeils bei

der ersten Ausführung des Dosismessers. Um die Ablesung unter allen möglichen Lichtverhältnissen zu gewährleisten, ist noch eine kleine Zusatzeinrichtung, ein Beleuchtungsscheibchen, an dem Instrument angebracht worden.

Ueber diese Veränderung des Dosismessers, die wohl eine Verbesserung darstellen dürfte, fehlen bisher noch persönliche Erfahrungen.

Herrn Professor Schultze für freundliche Ueberlassung der Arbeit und manchen wertvollen Ratschlag an dieser Stelle herzlich zu danken, ist mir ein Bedürfnis.

Literatur-Verzeichnis.

Blumenthal, Keller, Lomholt, Schultze, Stümpke, Volk: Therapeutische Umfrage der Dermatologischen Wochenschrift Nr. 36. 1931.

Dresler: Strahlentherapie, Bd. 41.

Du Mesnil de Rochemont u. Kirchhoff: Strahlentherapie, Bd. 41.

Ellinger: Strahlentherapie, Bd. 40.

Friedrich u. Schreiber: Ergebnisse der med. Strahlenforschung, Bd. V.

Fürstenau: Strahlentherapie, Bd. 12.

Grundmann: Medizinische Klinik 1931. Heft 42.

Haußer u. Vahle: Strahlentherapie, Bd. 21.

Keller: Strahlentherapie, Bd. 17.

Malten: Strahlentherapie, Bd. 27.

Meyer: Zentralblatt für Haut- u. Geschlechtskrankheiten, Bd. 22.

Meyer-Bering: Strahlentherapie, Bd. 1.

Miescher: Strahlentherapie, Bd. 40.

Mörikofer: Naturwissenschaften 1931.

Pinkussen: Photobiologie.

Rost u. Keller: Handbuch für Haut- u. Geschlechtskrankheiten, Bd. V. 2.

Rüttenauer: Strahlentherapie, Bd. 27.

Schall: Ergebnisse der med. Strahlenforschung, Bd. 4.

Schultze u. Händel: Strahlentherapie. Dornofestschrift 1931.

Sincke: Medizinische Klinik 1931. Heft 15.

Uhlmann: Strahlentherapie, Bd. 36.

Weyde: Strahlentherapie, Bd. 38.

Weyde u. Frankenburger: Naturwissenschaften 1930.

Wucherpfennig: Strahlentherapie, Bd. 38.

Wucherpfennig: Strahlentherapie, Bd. 39.

Lebenslauf.

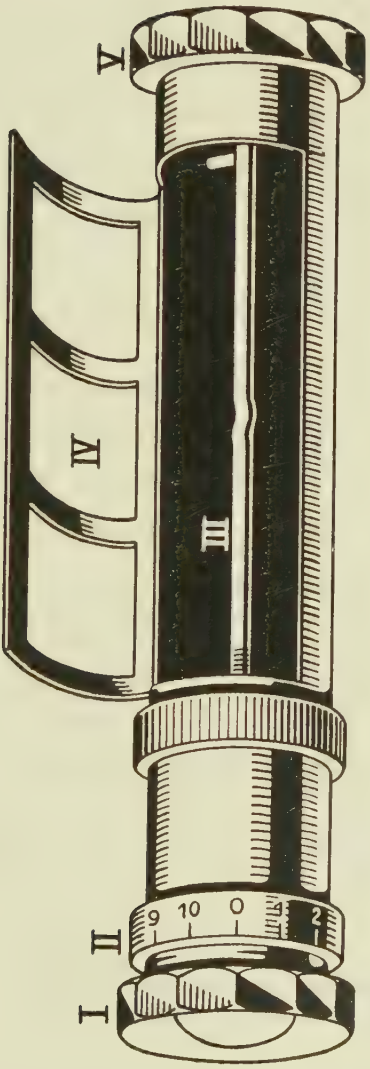
Am 14. Juli 1906 wurde ich in Zwingenberg a. d. Bergstraße als Sohn des Kreisgeometers Philipp Treusch und seiner Ehefrau Wilhelmine geb. Kreh geboren. Nach Besuch der Stadtschule Hungen, des Gymnasiums Laubach, des Realgymnasiums Gießen, der Realschule Butzbach und der Oberrealschule Gießen legte ich Ostern 1924 an der Ernst-Ludwig-Oberrealschule zu Bad Nauheim die Reifeprüfung ab.

Im Sommersemester 1924 ließ ich mich an der Landesuniversität Gießen als Studierender der Chemie immatrikulieren. Von S. S. 1926 belegte ich außerdem noch Medizin. Im S. S. 1926 bestand ich das erste, im Wintersemester 1928/29 das zweite chemische Verbandsexamen, im Wintersemester 1927/28 das Physikum und im Sommersemester 1931 das medizinische Staatsexamen.

Beilagen

1. Abbildung des Apparates,
2. Zusammenstellung der benutzten Lichtquellen,
3. Spektren der benutzten Lichtquellen,
4. Uebersichtstabelle (Seite 16 und 17)

Beilage 1.



I und V: Drehbare Ringe zum Oeffnen und Schließen des Apparates
II: Mit dem Blaukeil verbundene Skala
III: Ultraviolettdurchlässiges Quarzröhrchen mit der Testlösung
IV: Filterrahmen und Filter für Versuche mit der Sonne

Versuch 1–4: Kandem-Hochspannungsbogenlampen.

Das Wesentliche der Kandem-Bogenlampe besteht darin, daß nur der Lichtbogen, dessen Länge je nach Belastung zwischen 6 und 9 cm schwankt, zur Bestrahlung ausgenutzt wird. Der Lichtbogen, ein „Hochspannungsbogen", nimmt 110—120 Volt auf, während die gewöhnliche Bogenlampe mit 35—40 Volt brennt. Ohne besondere Belästigung durch Gase lassen sich Effektkohlen verwenden. Die entstehenden Metallsalzdämpfe werden in dem Metallzylinder, in dem der Lichtbogen brennt, niedergeschlagen.

Kandem-Hochspannungsbogenlampe nach Dr. Matthiesen (Strahlentherapie, Band 38, hergestellt durch Körting & Matthiesen, Leipzig).

a) Gleichstrom 6 Ampere, Netzspannung 220 Volt, Bogenspannung 120 Volt.

Versuch 1: Eisendochtkohlen, vgl. Spektrum Nr. 9 und 10.

Versuch 2: Wolframdochtkohlen vgl. Spektrum Nr. 11 u. 12.

b) Gleichstrom 12 Ampere. Netzspannung 220 Volt, Bogenspannung 110 Volt.

Versuch 3: Eisendochtkohlen vgl. Spektrum Nr. 5 und 6.

c) Wechselstrom 18 Ampere, Netzspannung 220 Volt, Bogenspannung 110 Volt.

Versuch 4: Conradi-Therapiekohlen 4003 vgl. Spektrum Nr. 1 und 2.

Versuch 5: Jupiterlampe

In der Jupiterlampe (hergestellt durch Kersten & Prasch) brennen 2 hintereinander geschaltete Lichtbogen. Als Kohlen können Effektkohlen verwendet werden, jedoch ist die Rauchbelästigung erheblich. Wir benutzten eine 9,5 Ampere-Gleichstromlampe für 220 Volt Netzspannung. Ein Vergleichsspektrum unter den gleichen Bedingungen wie bei den übrigen Lichtquellen ließ sich nicht aufnehmen, da die Intensität im Verhältnis zu den übrigen Energiequellen zu gering ist und die Lichtbogen sehr inkonstant sind. Bei den Versuchen wurden Eisendochtkohlen verwendet.

Sämtliche benutzten Vakuum-Quecksilberdampflampen sind hergestellt bei der Hanauer Quarzlampengesellschaft.

Versuche 6–10: Quecksilberdampen

Versuch 6: das kleine Tischmodell für Gleichstrom, Netzspannung 220 Volt, Stromverbrauch 0,40 K.W.

Versuch 7: Modell nach Jesionek. Gleichstrom 3,5 Ampere, Netzspannung 220 Volt, Bogenspannung 150 Volt.

Versuch 8: Modell nach Bach. Gleichstrom 3,0 Ampere, Netzspannung 220 Volt, Bogenspannung 150 Volt.

Versuche 9 u. 10: Modell nach Kromeyer mit Wasserkühlung. Gleichstrom, 3,5 Amp., Netzspannung 220, Bogenspannung 160 Volt.

Da das Quecksilberspektrum aller dieser Vakuumlampen gleich ist, wurde nur ein Vergleichsspektrum (vgl. Nr. 17) aufgenommen, und zwar vom Brenner des Bach-Modells. Belichtungszeit 4 Sekunden.

Versuch 11: Quecksilberdampflampe nach Jaenicke

Als Typ einer Quecksilberdampflampe, die unter Atmosphärendruck brennt, wurde die Lampe aus mattiertem Quarzglas nach Jaenicke verwendet. Gleichstrom 2,7 Amp., 220 Volt Netzspannung. Ein Vergleichsspektrum konnte leider nicht mehr aufgenommen werden, da der Brenner nach den Versuchen defekt wurde.

Versuch 12: Soarcalampe

Zu diesem Versuch wurde die von Rüttenauer konstruierte, bei Osram hergestellte Solarcalampe benutzt. Sie besteht aus einer in einem ultraviolettdurchlässigen Glaskolben eingeschlossenen Wolfram-Bogenlampe mit Edelgasfüllung und Quecksilberzusatz. Die Lampe erzeugt gleichzeitig Temperaturstrahlung und ein übergelagertes Quecksilberlinienspektrum. Das Spektrum ist unter Nr. 3 und 4 dargestellt. Bei der relativ kurzen Belichtungszeit von 3 bezw. 4 Sekunden kommt das kontinuierliche Spektrum der Lampe nicht voll zum Ausdruck. Die Lampe ist eingerichtet für 220 Volt Wechselstrom 50 Perioden bei einem Verbrauch von rund 300 Watt.

Versuch 13: Vitaluxlampe

Als reiner Temperaturstrahler wurde die Osram-Vitaluxlampe zu den Versuchen verwendet. Bei 220 Volt beträgt die Stromstärke 2,3 Amp., der Wattverbrauch etwa 500. Vergleiche Spektren 13 und 14, aufgenommen mit Reflektor.

Versuche 14 und 19: Sonne

Die Dosierungsversuche mit der Sonne wurden bei Sonnenhochstand am 13. Mai und 27. Juni 1931 im Sonnenbad der Universitäts-Hautklinik vorgenommen. Die Strahlungsintensität während der Versuche wurde gleichzeitig mit der Cadmiumzelle be-

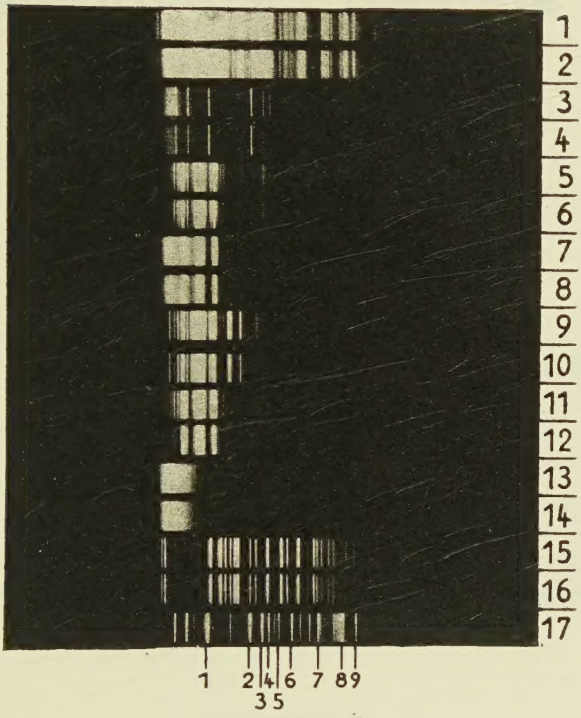
stimmt. Siehe Text. Es wurden beidesmal Tage mit freier Sonne und mäßiger Kumulibildung ausgewählt.

Versuche 15–18: Quarzcadmiumlampen

Bei diesen Versuchen kam die von Gabor angegebene, durch Siemens, Reiniger, Veifa hergestellte Quarzcadmiumlampe zur Untersuchung. Die Lampe arbeitet bei einer Netzspannung von 220 Volt Gleichstrom mit 3,3—4,2 Amp. Spektren der ungefilterten Strahlen unter Nr. 15 und 16. Während der Versuchsperiode wurden zwei verschiedene Konstruktionen der Lampe benutzt, und zwar beidesmal die ungefilderte und die durch ein alle Strahlen kurzwelliger als 280 mμ absorbierendes Filter, gefilterte Strahlung untersucht.

Sämtliche Vergleichsspektren wurden unter gleichen Bedingungen aufgenommen. Belichtungszeit 3, bezw. 4 Sekunden, Abstand Lichtquelle Spalt 1 Meter.

Beilage 3.



Wellenlängen in m μ:

1 = 366.3
2 = 313.2
3 = 302.2 } I. Maximum der
4 = 296.7 } Erythemwirkung
5 = 289.5 } nach Haußer u. Vahle
6 = 280.3
7 = 265.0
8 = 253.7 } II. Maximum der Erythemwirkung
9 = 248.0